

# МЕТОДИКА ВЫРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ ПО БЕЗАВАРИЙНОСТИ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК (ЖРДУ)

Маркин А.А.

Волжское конструкторское бюро РКК «Энергия», г. Самара

Упорядочение процесса установления и введения в документы требований по безаварийности является одним из важных принципов повышения эффективности целевых мер, направленных на исключение аварий ЖРДУ. Методика выработки требований служит для обеспечения полноты, достаточности и качества выдвигаемых требований с учетом структуры ЖРДУ и внешней среды, их характерных особенностей, состава опасностей, этапов жизненного цикла. Методикой может руководствоваться специалисты, занимающиеся разными направлениями, этапами и структурными составляющими ЖРДУ: проектанты, конструкторы, технологи, испытатели. Дать для каждого участника создания ЖРДУ конкретное руководство по заданию требований было бы очень обширной задачей, поэтому предлагаемая методика устанавливает общие подходы и принципы к выполнению типовых операций выработки количественных и качественных требований по безаварийности ЖРДУ. Основой всего комплекса работ по выработке требования является предлагаемая «Система требований по безаварийности ЖРДУ».

Система имеет четырехуровневую иерархию:

Первый уровень. Сама система, вход и выход ее, внешняя среда.

Второй уровень. Это следующие компоненты:

- структура требований;
- номенклатура требований;
- методика выработки требований.

Третий уровень. Группы: показателей; документов, содержащих требования по безаварийности ЖРДУ; перечней, видов требований.

Четвертый уровень. Сами требования, распределенные по составным частям ЖРДУ и ее внешней среды, по видам опасностей, по документам, по этапам жизненного цикла.

Входом системы являются: фундаментальная база знаний, содержащая информацию, теорию относительно проблемы борьбы с авариями; нормативная документация с общими техническими требованиями и требованиями по безопасности ЖРД, ЖРДУ, РКН, космических комплексов; перечень обязательных терминов и определений, касающихся безаварийности. Выходом системы определяем: требования в документации на составные части, ЖРДУ и ее внешнюю среду и оценки полноты и эффективности требований.



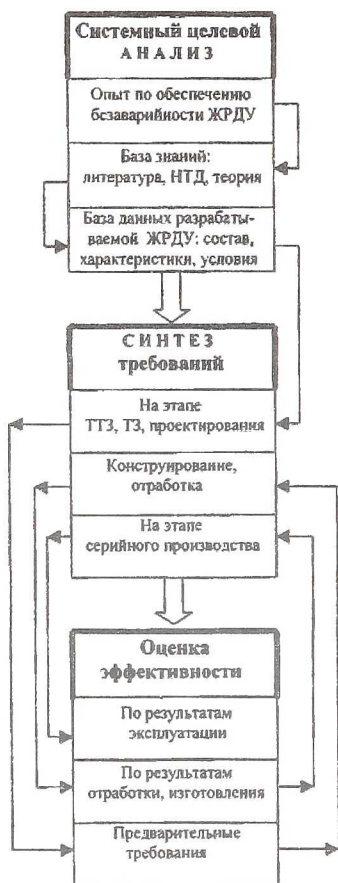


Рисунок 2 - Схема последовательности работ по выработке требований

- составление перечня причин аварий;
- определение этапов жизненного цикла ЖРДУ, потенциально аварийно-опасных;
- определение источников опасностей по каждому аварийному фактору;
- определение причин, вскрывающих каждый источник опасности;
- выработка предварительных проектных, конструкторских, технологических, эксплуатационных,
- организационных требований;
- составление предварительного списка предполагаемых мер, которые должны быть приняты для выполнения выработанных требований;
- оценка эффективности предполагаемых мер по принятым критериям (техническим, экономическим ...);
- установление окончательных требований, которые будут введены в технические задания и КД.

Очевидно, что процесс установления требований носит итерационный характер и во многом требует использования опыта и интуиции разработчика. Кроме того, необходимо использовать нормативные документы, содержащие общие требования в части безаварийности, которые включены в требования по безопасности. Задача является оптимизационной, так как состоит в выборе среди некоторого множества допустимых требований тех из них, которые можно в том или ином смысле квалифицировать как оптимальные. При этом допустимость каждого требования понимается в смысле возможности его фактического осуществления при имеющихся ресурсах, а оптимальность - в смысле



его целесообразности, определяемой по уровню влияния требований на обеспечение показателей безаварийности. Так как критерии оптимизации имеют вид требований о максимизации значения нескольких числовых функций, значения которых выражают меру (степень) осуществления целей безаварийности, то задача установления требований является также многокритериальной.

Качественные требования, в основном, задаем от достигнутого, т.е. используя литературу, НТД и КД на известные ЖРДУ, (аналоги и прототипы) с учетом ожидаемого роста надежности, безаварийности материалов, комплектующих изделий, повышения качества производства, внедрения современных программно-технических средств.

Распределение характеристик аварий ЖРДУ по признакам (группам) позволяет выбрать те характеристики, которые будут учитываться при дальнейшем решении задачи установлении требований безаварийности. Присвоим характеристикам индексы по типу  $a_i$ ,  $b_i$ , где  $a$ ,  $b$  - признаки характеристик,  $i$  - порядковый номер характеристики по каждому признаку. В результате анализа приведенных признаков характеристик аварий выбираем из них следующие признаки, со всеми входящими характеристиками, которые используем при синтезе требований безаварийности:

- а) по объектам (структурным единицам и источникам аварий);
- б) по этапам жизненного цикла;
- в) по видам аварий и опасностям (по характеру физических процессов);
- г) по причинам и виновникам аварий.

Остальные признаки характеристик, связанных с последствиями аварий ЖРДУ: виды аварий, по влиянию на эксплуатацию, по величине ущерба, по последствиям, по воздействию на людей, по воздействию на инфраструктуру, по влиянию на экологию – используем при оценке эффективности требований по безаварийности.

Теперь определяем принадлежность выбранных характеристик документу, содержащему требования:  $a_i \in D_i$ , где  $D$  – документ (техническое задание, технические условия, программа испытаний и т.д.), состав  $D$  определяется номенклатурами конструкторских и технологических документов, разрабатываемыми при проектировании ЖРДУ. Далее составляем таблицу соответствия.

По таблице соответствия проверяется реализация (парирование) характеристик требованиями в документах, что обеспечивает полноту и качество введения в документы необходимых требований по безаварийности ЖРДУ.

Список аварийноопасных элементов и составных частей состав-

ляем на основе анализа структуры, состава ЖРДУ, логики и циклограммы функционирования, используя статистические данные по авариям, экспертные оценки. В список входят сосуды, работающие под давлением (баки, баллоны, трубопроводы), арматура (пневмоклапаны, электропневмоклапаны, пироклапаны), искроопасное электрооборудование, компоненты топлива.

Таблица

	$D_1$	$D_2$	....	$D_i$
$a_1$	•			•
...				
$a_j$		•		
$b_1$	•	•		
...				
$b_i$		•		•
...				

Аварийноопасные факторы являются первопричиной потенциальной опасности, т.е. стоят на первом месте в цепочке причинно-следственных связей, приводящих, в конечном счете, к аварии [1]. Для ЖРДУ и ее составных частей могут быть названы общие факторы по следующему делению: технические, личностные факторы и факторы управления и организации.

Переходим к выработке предварительных требований. Так как совокупность требований по безаварийности имеет цель не допустить как саму опасность аварии  $A_i$ , так максимально ограничить ее источники, то эти три фактора (опасности – источники – меры) изобразим в виде областей трехмерного пространства, где можно показать связь и взаимозависимость этих факторов. Опасности обозначим символом  $P_i$ , источники  $J_i$ , меры  $M_i$ . Соответственно, множества факторов выразим:

$$P \{ P_1, P_2, \dots P_i \}; J \{ J_1, J_2, \dots J_i \}; M \{ M_1, M_2, \dots M_i \} \quad (1)$$

Выражения для решения задачи выработки предварительных требований:

$$\forall (A_i)(P_i \cap J_i); \forall (P_i \cap J_i) M_i; M_i \Rightarrow \bar{A}_i; \forall (P_i \cap J_i) \bar{M}_i \Rightarrow A_i \quad (2)$$

Вводим вероятностные параметры опасностей инициирования источников, их долевое участие в  $P=1$  (вероятности безаварийной работы) и критерии эффективности мероприятий по обеспечению безаварийности ЖРДУ.

За критерий эффективности мероприятий может быть принято отношение:

$$K_{Q1} = Q_2 / Q_1, \quad (3)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  - соответственно уровни риска до и после мероприятий.

Методика расчета  $K_{Q1}$  приведена в (2).

При задании требований по безаварийности, если за критерий принимать экономический эффект, в общем случае требуется получить максимум целевой функции.

$$C_i(B) = W_i(B) - C_i(B), \quad (4)$$

где  $B$  - показатель безаварийности, зависящий от  $i$ -го варианта ЖРДУ ( $i=1, n$ );  $W_i(B)$  - выходной экономический эффект от применения  $i$ -го варианта ЖРДУ при уровне безаварийности  $B$ ,  $C_i(B)$  - затраты на обеспечение уровня безаварийности  $B$  для  $i$ -го варианта ЖРДУ.

Условие (4) будем принимать для оценки оптимальных альтернативных решений, обеспечивающих одинаковый уровень безаварийности. Например, для исключения перепутывания при подстыковке наземных магистралей к бортовым штуцерам ЖРДУ проводим сравнительную оценку трех вариантов:

- разнесение штуцеров на расстояние, исключающее ошибочную подстыковку;
- применение отличающейся конструкции штуцеров;
- использование на всех этапах работ только принципа «автостыка».

Для ЖРДУ основной «экономической» выходной характеристикой принимаем тяговооруженность, то есть отношение суммарной тяги (или суммарного импульса тяги) к массе ЖРДУ. Так как при любых альтернативных решениях по безаварийности остаются неизменными выбранные ЖРД и их параметры, нам предстоит оценить только изменение массы ЖРДУ для каждого решения и перевести это изменение массы в изменение тяговооруженности и далее в изменение стоимости выведения 1 кг полезного груза на орбиту. Для удобства расчетов можно использовать относительную величину: увеличения стоимости выведения 1 кг полезного груза на 1 кг увеличения массы ЖРДУ.

Подсчитать увеличение массы ЖРДУ для вариантов разнесения штуцеров и изменения их конструкций не составит труда. Труднее будет подсчитать стоимости затрат по каждому решению, так как кроме оценки затрат по бортовой конструкции, необходимо учесть все затраты по наземному оборудованию завода, технической и стартовой позиций. К тому же, варианты могут пересекаться или расчленяться на подварианты для разных этапов работ. Так, для стартового комплекса принимают решение по «автостыку», а для завода и технического комплекса из-за сложности обеспечения механизации вводят на бортовую часть автостыка разные штуцера.

Показав схему количественной оценки выбора конкретного тре-



бования, отметим, что ее применение ограничивается необходимостью более глубокой оптимизации с учетом схемно-компоновочных условий, организационных проблем, влияния на показатели надежности, безопасности, что трудно представить численными методами. Сами численные показатели по выражению (3) могут иметь погрешности, сравнимые с разницей вычисленных целевых функций. Поэтому для большинства задаваемых конкретных требований или проектных решений по обеспечению безаварийности ЖРДУ применим экспертный метод дискретных оценок; «больше или меньше» - затрат, увеличения массы, степени опробированности, влияния на повышение общей надежности, возможностей для технической реализации для сравниваемых вариантов при одинаковой степени обеспечиваемых этими вариантами безаварийности ЖРДУ.

### Список литературы

1. Маркин А.А. Аварийно-опасные факторы жидкостных ракетных двигательных установок. «РКТ. Н/Т сборник», 1998, сер. XII, вып.1, с. 40-48
2. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов: (Теория и анализ). — М.: Транспорт, 1986. — 224 с.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Нечаев А.Н.

Волжское конструкторское бюро РКК «Энергия», г. Самара

Анонс пилотного проекта создания двигателя из материала его тавтологии ( «истинная правда», явный круг в определении и ...[1]) инструментом и по технологии теории моделей [2].

В математике, наряду с арифметикой, алгеброй, геометрией, векторной, начертательной и проч., есть раздел логический [1,2]. Он исходит из нескольких простых постулатов, например:

$$\square \models \varphi, \quad (1)$$

где  $\square$  - система,  $\models$  - символ «модель»,  $\varphi$  - определение. Причем, для любого, всякого  $\forall$  (квантор всеобщности) определения существуют  $\exists$  (квантор существования), по крайней мере, не менее 3-х компаньон-операционных  $\#$  (символ) интерпретаций текст  $\gamma^*$ , формула  $\gamma$  и изображение  $\gamma^*$  с идеографией в предикат (формула логическая):